

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 21 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501039

研究課題名(和文)スマートecoエナジーライフに関する科学教育用実験装置の開発

研究課題名(英文)Development of equipment for science education on "Smart-Eco-Energy-Life".

研究代表者

山田 洋(YAMADA, Hiroshi)

仙台高等専門学校・電気システム工学科・准教授

研究者番号：80302230

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、エコ発電、電力供給、電磁エネルギー変換を三本柱で構成する、科学・環境教育教材開発を目的とした。気象によらず常時発電可能な超小型水力発電(ピコ水力発電)システムの開発は、アキシヤルギャップ型・多極型ブラシレスDCコアレス発電機的设计・試作、水車と発電機を組み合わせた試作システムの検討よりシステムを提示できた。非接触電力伝送システムについて、コイルの構造と伝送効率の検討、伝送効率の改善検討を行い、ミニスケールモデルを示すことができた。電磁変換システム教材としてブラシレスDCモータの試作とそのアプリケーションの一つとして温調システムの検討を行ない、対象に応じた教材に展開する指針を得た。

研究成果の概要(英文)：In this study, equipment for science education on an ecological-power-generation system, a contactless-power-transfer system, and an electro-magneto energy transmission system were developed. A very small hydroelectric power generation system (a pico-hydroelectric generation system) can produce electrical energy from flowing water energy that has been missed. Axial flux type permanent magnet brushless dc generators and waterwheels for pico-hydroelectric generation system were designed and fabricated, and experimental results were obtained. The improvements of the efficiency for the contactless-power transfer system were indicated with mini-scale models. Brushless dc motors were experimentally manufactured and applied to the thermo-control system as one example.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：ピコ水力発電システム エコ発電 電磁エネルギー変換 スマートグリッド 科学教育教材

### 1. 研究開始当初の背景

近年の高次情報化社会において電力はなくてはならないエネルギーの一つであり、将来にわたる産業・技術を支える重要な社会基盤の一つである。しかし二十世紀型の発電形態では主として化石燃料を燃焼して利用するため、二酸化炭素や大気汚染物質の排出を制限する必要があり、なおかつ燃料の高騰や近い将来枯渇することも懸念される。

そこで、持続可能な社会を実現するためには、再生利用可能なクリーンエネルギーを利用した電力発生及びその応用が必須である。しかし、このような事象に関して漠然と感じている人は多いが、高等教育機関においてもその理解と活用は未だ十分ではない。一方、社会生活の基盤として自動車を中心とした交通手段も重要な位置を占めているが、化石燃料を利用した内燃機関でエネルギー変換を行なうため前述の発電と同様な課題を有しており、近年自動車の電化へ向けた研究も進められている。現状では、電気自動車にどのような電力を利用するか、給電・充電方法をどのようにするか、などの課題が挙げられる。

しかし、これらの課題に対する教材は現在存在しないため、エコに根ざした電力発生とその応用・利用を網羅したスマートグリッドに関する科学教育は、社会的意義の高いものと考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究の特徴は、(a)風力、太陽光、水力などの身近なクリーンエネルギーを利用した電力発生・輸送、(b)電気自動車をはじめとする電気機器への電力供給、(c)電力から動力などへのエネルギー変換、の三本柱に対する総合的な検討とその将来展望について考察を行い、エコ発電とその応用に関する、科学教育と広報を目的とした実験装置の開発を進める。ここで、再生利用可能エネルギーとして身の回りにあり普段見過ごしているエネルギーの一つである水道水の流れのエネルギーを対象とした、ピコ水力発電システムの検討を行う。電力供給には非接触電力伝送を対象とした。電磁エネルギー変換はモータの高効率化と有効利用について検討した。いずれも工学教育におけるエネルギー問題を対象とする教材としての活用を目的とするものである。

### 3. 研究の方法

#### (1)ピコ水力発電システムの検討

ピコ水力発電システムは、発電機と水車を構成要素とするため、発電機の検討とピコ水力発電システムの検討に分けて行った。

ピコ水力発電システムの外観を図1に示す。

#### ①ピコ水力用発電機の検討

水車の始動および低速回転を入力とすることから、本研究ではコアレス型のアキシヤルギャップ型発電機を採用した。電磁界解析シミュレータを用いて設計・解析を行い、且つ

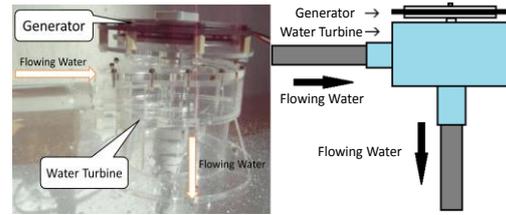


図1 ピコ水力発電システムの概観図

その発電機を試作し実験を通じて得た結果を比較検討する。

#### ②ピコ水力発電システムの検討

本システムは流れる水のエネルギーを入力とするため、その流量に応じた水車を作製し、前述の発電機と組み合わせて、ピコ水力発電システムを構築する。発電量の負荷特性を測定し、発電機単体の負荷特性とシステムの負荷特性とを比較検討する。

#### (2)非接触電力伝送の検討

非接触電力伝送には、マイクロ波(電波)を利用したもの、電磁界共鳴現象を利用したもの、電磁誘導を利用したものなどがあげられるが、本研究では電磁誘導方式を採用した。この方式は送電コイルと受電コイルとの距離および位置ズレが伝送効率を劣化させる要因となるため、①距離の影響を低減するもの、および②物理的に距離を短くする方法を検討する。

#### (3)電磁エネルギー変換システムの検討

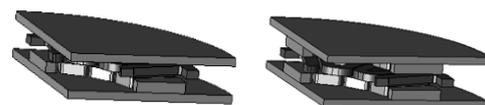
電磁エネルギー変換システムとして、ブラシレス DC モータを対象とした。これは、直流モータの動作とブラシレス構造による耐久性の高さが特徴であり、パワーエレクトロニクス教材としても活用可能である。本研究では、①アキシヤルギャップ型モータの試作検討、および②アプリケーションの一つとして空調の温度制御に関する基礎検討を進める。試作システムより電磁変換システムの構理解と制御課題を探索し、教材としてのアプリケーション展開を検討する。

### 4. 研究成果

#### (1)ピコ水力発電システムの検討

#### ①ピコ水力用発電機の検討

設計・試作した発電機の構造を図2に示す。



(a)片面磁石配置 (b)両面磁石配置

図2 発電機の構造 (1/4 モデル)

アキシヤルギャップ型構造は、磁石の発生する磁束の流れと回転軸の長さ方向が平行となる。コイルを固定子とし、磁石を回転子とする。磁束効率を比較するため、回転子の片

面に磁石を配置したものと、両面に配置したものを比較検討した。

片面磁石配置した発電機の回転数を一定としたときの、発電出力の負荷特性のシミュレーション結果と実験結果を図3に示す。

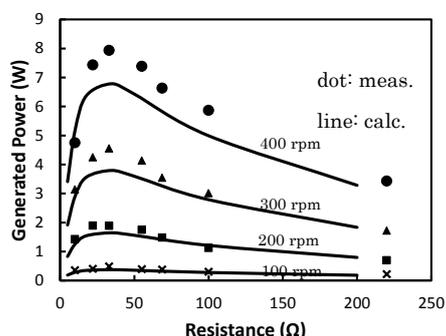
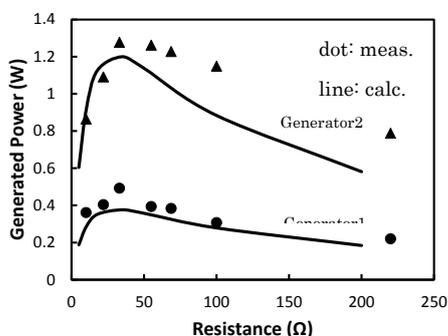


図3 発電出力の負荷特性

(線：シミュレーション，点：実験)

回転数を増加すると発電出力が増大する傾向、および発電機コイルの巻線抵抗に相当する負荷で最大値を示し、電源の最大電力供給条件を満たすことが確認できた。シミュレーションと実験とでよい一致を示すことから、設計が妥当であることが確認できた。

片面磁石配置と両面磁石配置とを比較した発電出力の負荷特性のシミュレーション結果と実験結果の一例を図4に示す。



(下)片面磁石配置 (上)両面磁石配置

図4 発電出力の負荷特性(100 rpm)

(線：シミュレーション，点：実験)

両面磁石配置により出力が約3倍と向上する結果が得られた。ただし入力トルクも増大することから、水車に負担がかかることが懸念される。よって、本研究では片側磁石配置の発電機を採用した。

## ②ピコ水力発電システムの検討

前述の発電機を水車に組み合わせたシステムを構築し、水を流して同様な測定を行った結果の一例を図5に示す。水車への流量を30 L/min一定とした。負荷抵抗値が大きくなる(負荷が軽くなる)につれて回転数が増大し、出力も増大する傾向が示された。

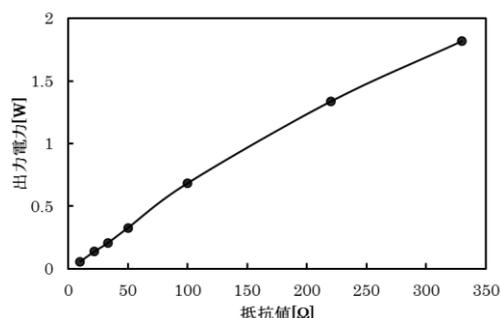


図5 試作したピコ水力発電システムにおける発電出力の負荷特性の一例

(流量 30L/min 一定)

本検討に用いた水車の機械的出力が不十分であることから、流量を増大し入力エネルギーを増加させる検討を行った。ただし、ここで用いた水車は軸封水が不十分であり流量増大が漏水を招くことから、流量増大に耐えうる構造(水車の大型化、軸封水の改善)とした。出力改善を図ったシステムの測定結果の一例を図6に示す。

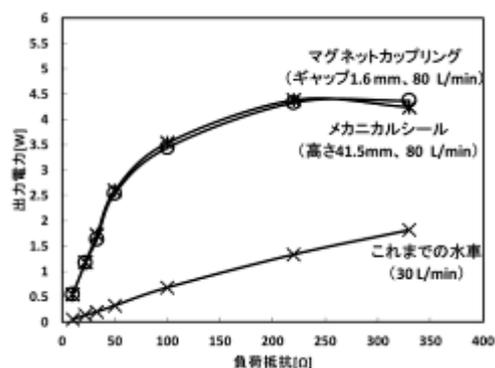


図6 出力改善システムにおける発電出力の負荷特性の一例

軸封水にマグネットカップリングおよびメカニカルシールを適用し、いずれも流量増大に伴う漏水がおきないことを確認した。流量を80 L/minに増大した結果、発電機の性能を十分発揮できることが示された。負荷の重い領域でも十分出力が得られる水車、および小型小流量でも十分な機械的出力が得られる水車の検討が今後の課題である。

## (2)非接触電力伝送の検討

電磁誘導方式による非接触電力伝送は、送電コイルと受電コイル間の距離(ギャップ長)増大および位置ズレにより、伝送効率が低減する。しかしギャップ長および位置ズレに対する耐性が高いと利便性が向上する。ギャップ長を一定にしたときの、伝送効率の位置ズレ依存性を測定した結果を図7に示す。距離を離すにつれ、また位置ズレが大きくなるにつれて伝送効率が低減する結果が確認できた。ここで用いたコイルでは、ギャップ

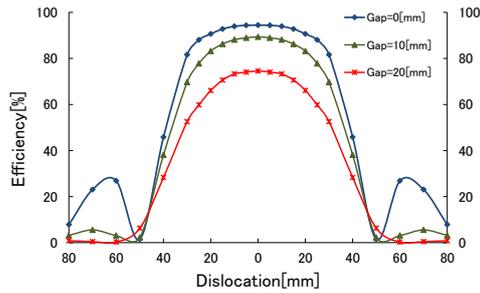


図7 コイル位置ズレに対する伝送効率の実験結果一例 (コイル外径 80mm)

長 10mm のとき、±25mm の範囲で伝送効率 80% が得られることが確認できた。

#### ①ブースターコイルを用いた遠距離伝送

ギャップ長が広がると伝送効率が低減するが、受電コイルにブースターコイルを導入し改善することが可能である。図 8 に実験結果を示す。

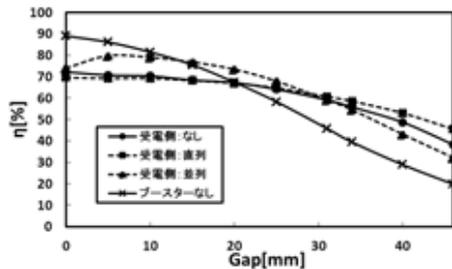


図 8 伝送効率のギャップ長依存性

近距離ではブースターなしの方が高効率であるが、本実験ではギャップ長 20mm を超えたあたりから逆転していることから、ブースターコイルの効果を確認できた。

#### ②追尾型送電コイルシステム

受電コイルの位置がズレたときに送電コイルが受電コイルを追尾し位置ズレを解消するシステムを検討した。図 9 にシステムの概観図を示す。

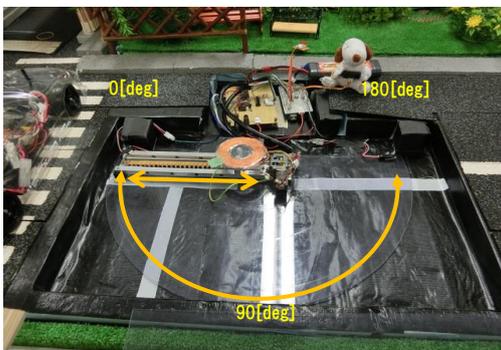


図 9 追尾型送電コイルシステムの概観

180 度回転するスイングアーム上にリニアステージを設置し、図 9 に示す半円の範囲内で

あれば受電コイルを追尾し位置ズレなしで送電できる構造である。赤外線位置センサとフォトトランジスタで位置情報を取得し、マイコン (Arduino) で駆動回路を制御し、位置合わせモータを駆動した。これにより精度よい位置合わせが可能となった。

#### (3) 電磁エネルギー変換システムの検討

##### ①ブラシレス DC モータの試作

DC モータと同様な性質をもち、ブラシによる接触摩耗が無い構造のブラシレス DC モータの構造を理解し活用するため、試作と動作検証を行った。図 10 に試作モータの概観を示す。



図 10 試作ブラシレス DC モータ概観

磁石、コイル、磁界センサを組み合わせる実負荷特性を実験・評価し、電磁エネルギー変換教材として活用できることを示した。

##### ②ブラシレス DC モータの教材利用

市販ブラシレス DC モータを用いて、温度制御を行う教材の基礎検討を行った。ここでは、モータで発電機をまわしランプを点灯させ、その温度を一定に保つ制御を行うシステムを作製した。センサと制御を組み合わせることで、ブラシレス DC モータを教材として活用し、電気エネルギー利用の省力化・高効率化を検討することができる。

以上、エコ発電、非接触電力伝送、電気エネルギー利用を三本柱とする教材について検討を進め、各々のパートで有用性を示すことができた。今後はこれらを融合し、スマートグリッドにおける電気エネルギーの利活用に向けた検討が課題としてあげられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① 小澤哲也, 山田洋, 佐藤弘二, 小島健, 藪上信, 小林伸聖, 中居倫夫, 荒井賢一  
高周波キャリア型薄膜磁界センサによる磁気深傷試験装置,

Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol. 37, No. 1, pp.1-7. 2013. (査読有)

〔学会発表〕(計 10 件)

- ① 名生崇悦, 山田洋, 栞 修一郎, 石山和志, 北村康宏, 鈴木 拓, FeSiB 薄帯の応力印加下での磁気特性, 平成 26 年電気学会全国大会, 2014. 3. 18~3. 20, 愛媛大学城北キャンパス
- ② 山崎仁士, 横山晃, 山田洋, ピコ水力発電システム高出力化の検討, 平成 26 年東北地区若手研究者研究発表会, 2014. 2. 28, 東北工業大学八木山キャンパス
- ③ 齋藤泰悟, 山田洋, 逆磁歪効果による振動発電の基礎検討, 平成 26 年東北地区若手研究者研究発表会, 2014. 2. 28, 東北工業大学八木山キャンパス
- ④ 清野貴寛, 山田洋, 空調コンプレッサ制御用ブラシレス DC モータの基礎検討, 平成 26 年東北地区若手研究者研究発表会, 2014. 2. 28, 東北工業大学八木山キャンパス
- ⑤ 名生崇悦, 山田洋, 栞 修一郎, 石山和志, 逆磁歪効果を利用した磁気デバイスの基礎検討, 第 19 回高専シンポジウム in 久留米, 2014. 1. 25, 久留米工業高等専門学校
- ⑥ H. Takahashi and H. Yamada, A Study of Axial Flux Type Generator for Pico Hydroelectric Power Generation, 3rd International Symposium on Technology for Sustainability, 2013. 11. 20 ~ 22, Hong Kong Institute of Vocational Education (Tsing Yi), Hong Kong
- ⑦ 綱田錬, 千葉大樹, 高橋拓暉, 山田洋, ピコ水力発電システムの基礎検討, 平成 25 年電気学会全国大会, 2013. 3. 20~23, 名古屋大学
- ⑧ 高橋拓暉, 綱田錬, 山田洋, ピコ水力発電に向けたアキシヤルギャップ型発電機の基礎検討, 平成 25 年電気学会全国大会, 2013. 3. 20~23, 名古屋大学
- ⑨ 千葉大樹, 綱田錬, 山田洋, 水道を利用したピコ水力発電システムの開発, 平成 25 年東北地区若手研究者研究発表会, 2013. 3. 1, 東北工業大学八木山キャンパス
- ⑩ 高橋拓暉, 山田洋, ピコ水力発電に向けたアキシヤルギャップ型発電機の基礎検討, 平成 24 年東北地区若手研究者研究発表会, 2012. 3. 9, 仙台高等専門学校広瀬キャンパス

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山田 洋 (YAMADA, Hiroshi)  
仙台高等専門学校・電気システム工学科・  
准教授  
研究者番号 : 80302230